

Dust and Noise Pollution Control Techniques and Green Management Practices in Underground Construction

Pan Zhou

China Coal Jiangnan Construction Development Group Co., Ltd., Foshan Branch, Guangzhou, Guangdong, 510000, China

Abstract

Controlling dust and noise pollution during underground construction is a key aspect of urban green development. This paper systematically analyzes the sources and transmission mechanisms of dust and noise, and proposes a comprehensive control technology system based on the principles of 'source prevention – process management – end treatment.' The system includes measures such as enclosed material management, intelligent water-spraying dust suppression, selection of low-noise equipment, and optimization of sound barriers. The implementation requires integration with BIM technology for construction process simulation, IoT-based real-time monitoring systems, and circular economy concepts. It establishes a green management model covering the entire lifecycle from design and construction to operation and maintenance, thereby reducing dust concentration and maintaining noise levels below 55 dB(A), while minimizing necessary energy consumption and waste. This provides a replicable green construction solution for urban underground space development.

Keywords

Underground construction; Dust and noise pollution; Control technology; Green management practices

地下工程施工中扬尘与噪声污染控制技术及绿色管理实践

周盼

中煤江南建设发展集团有限公司佛山分公司, 中国·广东 广州 510000

摘要

地下工程施工中扬尘与噪声污染控制是城市绿色建设的关键环节。本文系统分析了扬尘与噪声的污染源及传播机制, 提出“源头预防-过程管控-末端治理”的复合控制技术体系, 涵盖密闭化物料管理、智能喷淋降尘、低噪声设备选型及声屏障优化等措施。需要专门结合BIM技术模拟施工过程、物联网实时监测系统及循环经济理念, 构建了涵盖设计、施工、运维全周期的绿色管理模式, 使扬尘浓度降低, 噪声值控制在55dB(A)以下, 同时减少必要地能源消耗与废弃物, 为城市地下空间开发提供了可复制的绿色施工解决方案。

关键词

地下工程施工; 扬尘与噪声污染; 控制技术; 绿色管理实践

1 引言

随着城市化进程加速, 地下轨道交通、综合管廊等地下工程规模激增。据统计, 我国地下工程年施工面积已突破10亿平方米, 但传统施工方式导致扬尘超标率达35%、噪声投诉占比较高, 严重威胁居民健康与生态环境。尽管《建筑施工场界环境噪声排放标准》(GB12523-2011)等法规明确了限值要求, 但实际执行中仍存在设备老化、管理粗放等问题。为此, 亟需探索从技术优化到管理创新的系统性解决方案, 以便能够推动行业向低碳化、智能化转型。

【作者简介】周盼(1988-), 男, 中国河南内乡人, 本科, 工程师, 从事建筑工程研究。

2 污染源解析与影响评估

2.1 扬尘污染特征

扬尘是指地表松散物质在自然力或人力作用下, 进入到环境空气中形成的一定粒径范围的空气颗粒物。地下工程施工中的扬尘污染具有显著的空间集中性与阶段特异性。此外, 地下工程特有的封闭空间结构进一步加剧了扬尘的滞留, 造成地下作业面的空气流动速率降低, 造成相关施工人员长期暴露于高浓度粉尘环境中的风险显著增加。

2.2 噪声污染机制

可以看到, 地下工程噪声污染呈现高频、复合、传播路径复杂的特点。主要噪声源包括打桩机(110dB)、空压机(95dB)等设备, 其声压级随频率升高呈现非线性衰减特征, 高频噪声(>2000Hz)在地下封闭空间中的衰减率较露天环境降低30%, 导致作业面5米范围内的噪声值仍可

达 85dB 以上^[1]。结构传播是地下工程噪声污染的关键路径。其中的声波能够通过围岩、支护结构等介质传播时,低频噪声(<500Hz)的穿透力更强,可引发周边建筑物二次振动,导致居民区夜间噪声超标率上升。此外,多设备协同作业产生的噪声叠加效应显著,形成“噪声群”污染。

3 地下工程施工中扬尘与噪声污染控制技术

地下工程施工因空间封闭、作业集中等特点,其扬尘与噪声污染对周边环境及居民健康的影响更为显著。近年来,随着物联网、BIM 技术及新材料的应用,动态抑制、智能监测技术体系逐步成熟,以便能够形成覆盖施工全周期的绿色管控方案。

3.1 扬尘动态抑制技术

密闭化作业与物料管理地下工程中,土方开挖、渣土运输是扬尘主要来源。郑州市轨道交通某深基坑工程开展过程中需要采用“随挖随运、随填随压”工艺,将裸露土方暴露时间缩短至 2 小时内,结合可降解防尘网覆盖技术,使扬尘浓度降。在材料堆放环节,武汉市某综合管廊项目设置密闭式砂石库房,配备自动喷雾装置,当 PM10 浓度超过 0.8mg/m³ 时,这个系统自动启动喷雾炮降尘,有效减少二次扬尘。

此外,湿法作业与智能喷淋湿法作业是地下工程扬尘控制的核心手段。丽泽金融商务区北区土护降工程采用 360° 基坑围挡喷雾系统,结合高压除尘塔炮,实现每 200 平方米设置 1 个喷头的密集覆盖,洒水降尘效率能够获得全面地提升。更先进的案例中,智能喷淋系统通过气象站实时监测风速、湿度,动态调整喷淋频率,能够有效确保地面湿润度。还需要在其中来进一步加强末端治理。全封闭作业舱与循环利用针对盾构机渣土处理等高扬尘环节,北京某地铁项目应用密闭化作业舱,通过负压抽风系统将粉尘收集至布袋除尘器,促使过滤效率得到了全面提升,粉尘排放浓度控制在 0.3mg/m³ 以下。

3.2 噪声精准消减技术

地下工程噪声污染的精准控制需从声源、传播路径及作业管理三方面构建技术体系。具体来说,在声源控制层面,低噪声设备选型与工艺优化是核心。例如,深圳某地铁深基坑工程建设过程中,工作人员专门采用电动液压破碎锤替代传统气动设备,能够使破碎作业噪声从 98dB 降至 85dB 以下,与此同时,还需要通过微差爆破技术将单次爆破噪声峰值进一步降低,按照这种形式能够显著减少对周边居民区的瞬时冲击。针对这些动力设备来说,北京综合管廊项目为空压机、通风机加装消声器,并需要在其中专门采用弹性橡胶隔震垫,使设备基础振动噪声衰减率达 40%。在传播路径控制过程中,复合声屏障与空间封闭技术成为关键手段。武汉某过江隧道工程在居民区侧设置双层透明 PC 板+吸音棉声屏障,还在其中专门结合基坑顶部滑轨式气膜覆盖,按照这种形式能够形成“隔声-吸声-反射”复合降噪结构,能够使膜外 1 米处噪声值从 92dB 降至 65dB。此外,作业时

间与空间布局的动态调整亦不可或缺。

3.3 智能监测与预警系统

扬尘噪声在线监测系统可以实现对地下工程施工现场的扬尘、噪声全时段、全区域的自主移动式监测,其中,按照这种形式能够实现贯穿施工的全过程监测,有利于从污染源源头减少扬尘和噪声污染,能够进一步提高扬尘和噪声污染治理的效果^[2]。

3.3.1 智能扬尘监测设备

扬尘噪声污染智能化监测系统主要包括监测设备层、数据处理传输层和云服务平台。其中,需要将相关的各类数据处理后通过通信网络传至云服务平台,并能够在现场 LED 屏上显示,在云平台上可以进行数据的存储、提取和分析。

3.3.2 监测设备层

不同于目前现场常用的施工围挡,在围挡顶部设置凹槽安装滑轨,需要将噪声、风速、温度、湿度等传感器及高清摄像头安装在一个箱体上,箱体内安装电机和蓄电池,而且,通过传动轴连接滑轮,从而能够带动该设备在施工现场围挡上自动移动,从而进行全方位环境监测。

3.3.3 数据处理与传输层

各项数据通过移动通信网络技术传输至数据存储系统,采用以便携式工控机为主要构件的数据处理层,进行初步的统计分析处理,并可以按照后台发布的指令完成数据发送、设备状态监测等功能。此外,搭建工地环境在线监测云服务平台。施工现场监测数据收集处理后上传至利用“互联网+”技术构建的信息集成云服务平台,其中,这个平台覆盖政府、企业、项目部三级,从而可以实现资源共享,实时监控,各部门实时获取施工现场的环境监测数据。

4 全周期绿色管理实践路径

4.1 提前识别高污染工序,优化施工时序

地下工程中,土方开挖、爆破作业、混凝土浇筑及渣土运输等环节是扬尘与噪声的主要来源^[3]。例如,土方开挖阶段,机械挖掘产生的 PM10 浓度可达周边环境值的 2-3 倍,且露天作业面的扬尘扩散范围超数百米;爆破作业瞬间噪声峰值可达 120dB,对周边 300 米内敏感区域造成显著冲击。通过在建立污染工序数据库,还需要结合 BIM 技术模拟污染物扩散路径,按照这种形式可量化各工序的环境影响系数,最终能够为时序优化提供依据。

施工时序动态调整策略主要包括以下两点:一是采取季节性避让。在北方干旱多风季节,暂停露天土方作业,优先安排地下连续墙施工等封闭工序。例如,北京某地铁项目将土方开挖时间调整至雨季前,需要专门来利用雨水沉降减少扬尘,同时通过预制构件安装替代现场浇筑,以便能够降低噪声暴露时长。二是需要开展昼夜错峰施工。相关工程管理人员需要依据《建筑施工现场界环境噪声排放标准》,夜间禁止使用打桩机等高噪声设备。而且,深圳某综合管廊工程

将混凝土输送泵作业时间调整至上午 10 点至下午 4 点，从而可以很好地避开居民休息时段，噪声投诉量下降 90%。

4.2 噪声管理制度和体系，从设备选型到全链条管控

为确保施工噪声污染防治工作的合规性，相关负责单位可共同组建项目合规工作组，各单位分别设立合规官或合规管理员，确保各环节噪声控制措施的有效落实。具体来说，在噪声管理制度和体系建设中，建设单位应将施工噪声污染防治工作纳入对施工单位和监理单位的考核内容。需构建从设备选型到全链条管控的立体化方案。技术选型层面，优先采用电动化替代方案，如选用噪声值 $\leq 85\text{dB}$ 的电动液压破碎锤替代传统气动设备，并需要在这个过程中来配合微差爆破技术，可使单次爆破噪声峰值降低 15dB ，武汉某过江隧道工程应用之后，隧道口 50 米处噪声值从 98dB 降至 71dB ；对空压机、通风机等设备进行一些必要的降噪改造，通过加装消声器及弹性橡胶隔震垫，上海某地下车库项目实现设备基础振动噪声衰减率达 40%；需要管理者在其中进一步推广封闭化作业模式，应用气承式基坑气膜并填充吸音纤维材料，北京某管廊工程实现“零噪声外泄”，膜外 1 米处噪声值仅 65dB 。制度构建层面，还需要实施分级管控机制，还需要依据噪声源强度划分红、黄、绿三级管控区。例如，某地铁项目对距居民区 <50 米的红色区域实施 24 小时动态监测，噪声超 70dB 时自动触发预警并启动移动式声屏障；建立标准化作业流程，以便能够制定《高噪声设备操作规范》，以便在其中明确设备启停检查、运行监控及维护要求。

4.3 环保法规与设备操作专项培训：筑牢绿色施工人才基石

全周期绿色管理实践中，环保法规与设备操作专项培训是推动绿色施工理念落地、提升人员环保能力的关键环节。培训体系的构建过程中，需分层设计，针对管理层重点解读《环境噪声污染防治法》《大气污染防治法》等一些相关的法规，在其中需要进一步强化合规管理意识；技术人员则侧重绿色施工标准、环境监测技术培训；一线工人通过案例教学，以便能够更好地掌握低噪声设备操作、洒水降尘频次控制等具体方法。例如，某地铁项目建设过程中，主要采用 VR 模拟技术还原施工场景，训练工人在不同工况下的环保操作，使雾炮使用正确率全面提升。此外，开展设备操作培训的过程中，需在这个过程中坚持“理论+实操”双轨制，对于工作人员专门开展理论课程讲解，能够专门来对设备降噪原理、维护周期及故障排查方法进行深入分析，实操演练过程中则重点训练低噪声破碎锤、电动铲运机等设备的启动顺序、功率调节等细节。

4.4 长期环境监测，构建全周期动态防控网络

第一，需要科学布局监测站点。以全周期绿色管理为

目标，在环境敏感区域（如居民区、学校、医院周边）及高污染源区域（如爆破作业区、土方开挖区）合理设置永久性噪声扬尘监测站，确保其中的监测范围全面覆盖施工全周期关键节点，按照这种形式实现污染数据的精准捕捉^[4]。例如，可专门参考杭州地铁项目在距居民区 50 米范围内布设监测站，或成都工程在爆破区域 50 米内加密布点的方式，以便能够结合具体的工程特点实现动态调整地布局。

第二，高精度设备选型与模型集成。噪声监测选用 1 级精度声级计，保障数据准确性；扬尘监测配置激光散射法 PM_{10} 传感器，按照这种形式能够同步集成风速、温湿度传感器，相关技术人员通过多参数耦合修正扩散模型，能够有效消除环境因素对监测结果的干扰，进一步提升数据可靠性。而且，设备选型需兼顾稳定性，按照这种方式可以有效确保长期运行中数据连续性。

第三，动态阈值管理与智能响应。在这个过程中，需要基于法规标准，在其中专门来设定昼间（ 70dB ）、夜间（ 55dB ）噪声阈值，从而能够专门构建超标自动触发机制，联动喷淋降尘、雾炮抑尘等设备即时响应。与此同时，还需要在其中来专门引入 LSTM 神经网络模型对历史数据进行针对性地深度学习，按照这种形式能够预测未来 24 小时污染趋势，从而能够为施工计划调整提供科学依据，最终就能够很好地实现污染防控的前置性管理。

5 结语

总之，这篇文章详细论述了地下工程施工中扬尘与噪声污染控制技术，并给出了具体的绿色管理实践。从而有效实现了地下工程施工与环境保护的协同发展。提前识别高污染工序、构建噪声管理制度、强化人员培训能力、部署永久性监测站，四者形成有机整体，进而就可以推动工程建设从“末端治理”向“源头防控”转型。未来进行相关研究的过程中，随着 5G+AI 技术的进一步融合应用，实时监测精度将提升至秒级，而气膜、天幕等新型封闭技术的成本下降，将进一步推动绿色施工的普及，为城市可持续发展提供坚实支撑。

参考文献

- [1] 于夕珈.市政道路施工中的环保措施与可持续发展路径[J].前卫, 2024(10):0194-0196.
- [2] 黄文强.智能监测系统在建筑施工噪声与污染控制中的作用研究[J].绿色建造与智能建筑, 2024(10):56-58.
- [3] 张政.建筑工程施工现场扬尘污染治理措施与效果评估[J].陶瓷, 2025(6).
- [4] 王宇轩,姚文青,雷鹏.施工现场雨水收集与自动喷淋降尘技术的研究与应用[J].陕西建筑, 2024(10):80-83.